第39卷 第5期
2022年9月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 39 No. 5
Sep. 2022

陕西省生境质量时空演变及驱动机制分析

王琦琨， 武 玮， 杨雪琪， 桑国庆
（济南大学水利与环境学院，山东 济南 250022）

摘 要： 生境质量是生物多样性保护和区域生态环境改善的重要基础，生态文明建设背景下研究生境质量时空演变及驱动机制具有重要意义。以陕西省为研究区，基于2000年、2010年和2020年的土地利用数据，利用InVEST模型、泰尔指数和地理探测器模型分析了三大地区（陕南、陕北、关中）生境质量的时空演变特征及驱动因子。结果表明：（1）2000—2020年全省平均生境质量呈现稳定且略微上升趋势，空间分布差异明显，表现为陕南和陕北地区高于关中地区；（2）全省三大地区间和地区内的生境质量差异较大，陕南和关中地区差异性大于陕北地区；（3）受空间尺度影响，全省和三大地区的驱动因子有所不同，植被与地形因子对全省生境质量影响最大，土地利用因子是三大地区的主要影响因素，且随着时间推移影响程度逐渐加强，地形因子与植被因子对三大地区的影响各有不同；（4）除单因子影响外，社会经济与自然环境因素的协同作用对三大地区生境质量变化影响显著。

关键词： 生境质量；InVEST模型；地理探测器；驱动因子；陕西省

随着人口增长和城镇化发展加速，使得土地利用格局发生显著变化，区域景观高度破碎化，空间异质性明显，进而造成自然生境破碎、生物栖息地受损，生境质量面临严峻考验[1-2]。生境质量是生态系统为个体与种群提供可持续生存发展的能力[3]，较高的生境质量有利于实现生物多样性的恢复和保护，是区域生态安全的重要保障[4]。因此，探究生境质量的时空演变规律，识别影响生境质量的主要驱动因子，有助于制定科学的可持续发展对策，对保护生物多样性和稳定生态系统具有重要意义[5]。

目前，评价生境质量的方法主要有两大类，第一类是基于实地调查数据和物种分布模型预测特定物种生境的变化，该方法需花费巨大的人力和物力，更适合较小尺度的研究；第二类是利用生境质量模型对生境进行评估，常用模型有适宜性模型[6]、多尺度集成模型[7]和InVEST模型[8]等，其中InVEST模型根据土地利用变化对生境质量进行评价，具有数据收集方便、操作简单和结果可视化等优点，在国内外得到了广泛的应用[9]。生境质量受自然环境、地理区位和社会经济等多个因素的影响，而地理探测器是分析各种现象的驱动力与影响因子以及多因子交互作用的有效方法[10]，广泛应用于土地利用变化、环境、生态、经济等多个领域。已有研究多从省域、流域和县域等尺度评估生境质量[11-13]，对于具有明显空间地域性特征的省域来说，其内部不同分区生境质量演化的影响因素及其作用机制更为复杂，因此有必要从不同空间尺度研究省域生境质量时空演变及驱动机制。

陕西省南北跨度较大，自南向北分为陕南地区、关中地区和陕北地区，受地理位置和经济社会发展等影响，三大地区的地形、植被、气候、水文等要素存在显著差异，其生境质量也具有典型的空间异质性，因此从区域尺度探究生境质量时空演变并识别主要驱动因子，对陕西省区域经济社会发展具有重要的指导意义。本研究利用InVEST模型评价陕南、陕北和关中三大地区的生境质量变化，并采用地理探测器识别引起生境变化的主要驱动因子，以期为全省和地区生态文明建设提供一定的参考依据。

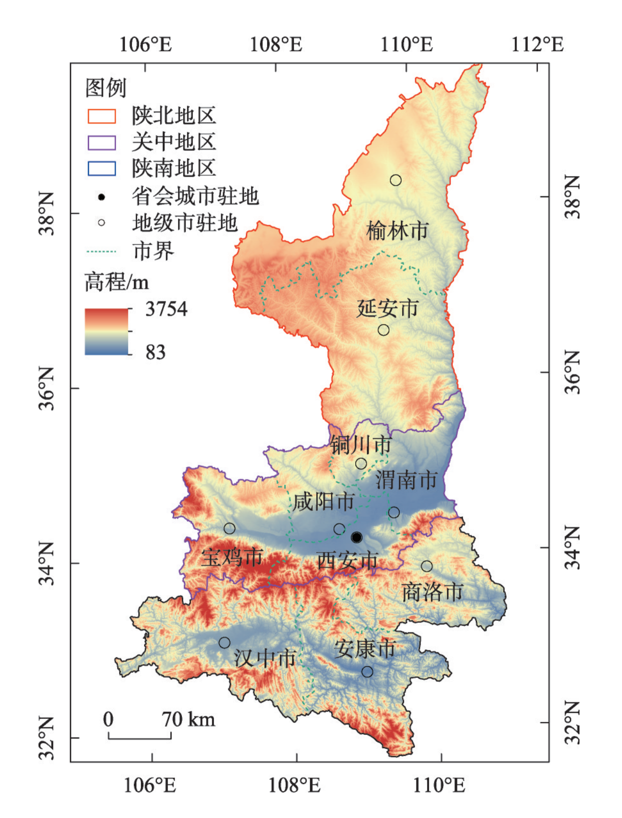
1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

陕西省位于105°29′~111°15′E，31°42′~39°35′N，

收稿日期： 2021-11-03； **修订日期：** 2022-05-19
基金项目： 国家自然科学基金（51909104）；山东省自然科学基金（ZR2019BEE064）；山东省省级水利科研与技术推广项目（SDSLKY201602）
作者简介： 王琦琨（1996-），男，硕士研究生，从事水文与水资源方面的研究. E-mail: wqk252017@163.com
通讯作者： 武玮. E-mail: stu_wuw@ujn.edu.cn

是我国西北地区主要经济中心，下设10个地级市107个县市区，总面积为2.056×10⁵ km²。全省南北跨度大，自北向南分为陕北、关中和陕南3个地区（图1）。陕北地区主要为黄土高原区，海拔在900~1900 m，为半干旱季风气候，年均气温为8~12 ℃[14]；该区域降水量少，主要分布有榆林和延安2个城市，榆林位于农牧交错带，植被稀疏，是典型的生态脆弱区和生态治理重点区域；延安南部森林覆盖率较高，是重要的生态功能区。关中地区以平原为主，海拔在460~850 m，为温带季风气候，年均气温为12~13 ℃，年降水量为500~800 mm[15]；该区域是陕西省的主要经济、政治和文化中心，自东向西分布有西安、咸阳和宝鸡等多个大中型城市，人口密集，是城镇和工农业发展的集中区。陕南地区主要为秦巴山区，以山地为主，海拔在1000~3000 m，为亚热带季风气候，年均气温为14~16 ℃，年降水量为800~1000 mm[16]；该区域降水量大、植被茂密，是全省主要的林区和重要的生态屏障，承担着水源涵养、生物多样性保护等多种生态功能。由于陕西省特殊的地理位置和自然环境，形成了自北向南典型



注：底图采用自然资源部标准地图制作，审图号为GS(2019)3333号，对底图边界无修改。下同。

图1　陕西省地形示意图

Fig. 1　Topographic map of Shaanxi Province

的地理分布和生态格局。

1.2　数据来源与处理

影响生境质量变化的因素较多，其中气候、地形和植被等是主要的自然环境因素，人口经济和土地利用则是主要的社会经济因素[17-20]。结合研究区现状和数据可获取性，本研究选取了自然环境和社会经济作为一级指标，选取6个二级指标和13个三级指标作为生境质量的影响因子。将指标进行栅格化处理，并按1 km网格进行重采样，得到205600个评价单元构成地理探测器驱动因子集。数据系列分别来自2000年、2010年和2020年，详细指标、数据来源及处理方法[21-23]如表1所示。

1.3　研究方法

1.3.1　InVEST模型　采用InVEST模型中的生境质量模块进行评估，该模块基于土地利用数据以及生物多样性的威胁因素等计算生境质量[24]。结合研究区现状及已有文献[13]，选择受人类活动影响较大的工矿用地、交通用地、农村用地、城镇用地、旱地和水田作为胁迫因子，建立土地利用类型和胁迫因子的敏感度关系（表2），结合不同生境与胁迫因子的距离、权重和衰退方式（表3）计算生境质量指数，该指数在0~1之间，数值越大，表示生境越好。利用自然断点法[25]将生境质量划分为[0,0.16]、(0.16,0.43]、(0.43,0.60]、(0.60,0.77]和(0.77,1] 5个等级，分别代表低、较低、中等、较高和高生境质量。生境质量指数计算公式和原理见相关文献[26]。采用泰尔指数定量分析地区的空间差异性和不均衡性，指数越大，表示空间差异性越大，具体指数公式见文献[27]。

1.3.2　地理探测器　地理探测器是探测空间分异性并揭示驱动因子的一种统计学方法，本研究主要采用因子探测和交互作用探测分析不同因子对生境质量的解释力[10]，并识别主要驱动因子。因子探测主要分析自变量X对因变量Y的影响程度，解释力用q值表示，计算公式如下：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^{L} N_h \sigma_h^2}{N_\sigma^2}$$

式中：q表示自变量X对因变量Y的解释力，取值范围为[0,1]，取值越大，表示解释力越强；$h(1, \cdots, L)$为因变量Y或自变量X的分层，即分类或分区；N_h和N分别为第h层和全区的单元数；σ_h^2和N_σ^2表示第h

表1　生境质量主要影响因子

Tab. 1　Main influencing variables on habitat quality

一级指标	二级指标	三级指标	数据来源	数据处理
自然环境	地形因子	起伏度	DEM数据来自地理空间数据云(https://www.gscloud.cn/)，精度为30 m	DEM填洼处理后使用Block Statistics提取
		地形位		地形位公式[21]
	气候因子	年均气温 年降水	中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)陕西省87个国家气象站	克里金插值
	植被因子	净初级生产力（NPP）	美国NASA官网(https://modaps.modaps.eosdis.nasa.gov/)，时间分辨率为8 d，空间分辨率500 m	最大合成法[22]
		归一化植被指数（NDVI）	美国NASA官网(https://modaps.modaps.eosdis.nasa.gov)，时间分辨率为30 d，空间分辨率500 m	
		叶面积指数（LAI）	美国NASA官网(https://modaps.modaps.eosdis.nasa.gov)，时间分辨率为8 d，空间分辨率500 m	
社会经济	交通区位	到市中心距离	北京大学城市与环境学院和open street官网(https://www.openhistoricalmap.org)	计算市中心欧氏距离
		到县中心距离		计算县中心欧氏距离
		道路密度		道路长度/总面积
	人口经济	县区GDP	《中国县域统计年鉴》	–
		县区人口数		
	土地利用	土地利用强度	中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)，精度为30 m	依据受人类活动干扰程度分为4级[23]：1级为未利用地，2级为林、草地和水域，3级为耕地，4级为城镇工矿居民用地

表2　不同土地利用类型对胁迫因子的敏感度

Tab. 2　Sensitivity of different land use types to stress factors

土地类型	适宜度	城镇用地	农村用地	水田	旱地	交通工矿用地
水田	0.5	0.7	0.6	0.4	0.3	0.6
旱地	0.4	0.6	0.5	0.4	0.3	0.5
有林地	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
灌木林	0.85	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7
疏林地	0.7	0.8	0.7	0.6	0.5	0.7
其他林地	0.6	0.75	0.7	0.6	0.5	0.7
高覆盖度草地	0.75	0.7	0.65	0.7	0.6	0.65
中覆盖度草地	0.7	0.6	0.6	0.6	0.55	0.6
低覆盖度草地	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6
河渠	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5
湖泊	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5
水库坑塘	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
沼泽地	0.6	0.6	0.5	0.2	0.4	0.3
滩地	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
城镇用地	0	0	0	0	0	0
农村居民点	0	0	0	0	0	0
其他建设用地	0	0	0	0	0	0
沙地	0	0	0	0	0	0
戈壁	0	0	0	0	0	0
盐碱地	0	0	0	0	0	0
裸土地	0	0	0	0	0	0
裸岩石质地	0	0	0	0	0	0

表3　胁迫因子及其胁迫距离、权重和衰退方式

Tab. 3　Stress factors, stress distance, weight and decline mode

胁迫因子	最大影响距离/km	权重	衰退方式
水田	3	0.6	线性
旱地	4	0.7	线性
城镇用地	8	1	指数
农村用地	6	0.8	指数
交通工矿用地	5	0.5	线性

层和全区 Y 的方差。

交互作用探测通过识别不同因子之间的交互作用，解释不同因子共同作用对因变量 Y 的影响。若 $q(x_1 \cap x_2) < \mathrm{Min}[q(x_1), q(x_2)]$，表示 x_1 与 x_2 交互后非线性减弱；若 $\mathrm{Min}[q(x_1), q(x_2)] < q(x_1 \cap x_2) < \mathrm{Max}[q(x_1), q(x_2)]$，表示交互后为单因子非线性减弱；若 $\mathrm{Max}[q(x_1), q(x_2)] < q(x_1 \cap x_2)$，表示交互后为双因子增强；若 $q(x_1) + q(x_2) = q(x_1 \cap x_2)$，表示两因子相互独立；若 $q(x_1) + q(x_2) < q(x_1 \cap x_2)$，表示交互后为非线性增强。

2　结果与分析

2.1　生境质量时空变化特征

陕西省2000年、2010年和2020年生境质量指数依次为：0.487、0.477和0.509，均为中等生境质量水平，且呈现微弱上升趋势，陕南和陕北地区生境质量分别提升了4%和8%，关中地区下降了10%。整体来看，2010年之后全省生境质量的变化程度大于2010年前，区域尺度变化大于全省尺度（表4）。从不同生境质量占比来看，全省3个年度不同生境质量面积变化不大，均以较低、较高和中等生境质量为主，三者占总面积的82%左右，较低和中等生境质量呈现减少趋势，较高生境质量呈增加趋势，高和低生境质量均呈增加趋势，但前者增速远大于后者，说明生境质量逐渐得到改善。

从空间分布来看（图2a），全省生境质量呈现南北高中部低的分布格局，三大地区的主要生境质量类型占比差距较大。陕南地区以较高生境质量最多，主要位于森林覆盖率较高的秦岭山区，其次是较低、中等和高生境质量，三者占比相差不大，较低生境质量主要位于汉中、安康等城市区域，低生境质量占比极少；陕北地区以较低生境质量占绝对优势，主要位于榆林东部和南部，其次是中等生境质量，较高生境质量在2010年后显著增加，达到20.08%，高生境质量和低生境质量占比很少；关中地区以较低生境质量占比最高，集中分布在西安、宝鸡和咸阳等城市中心，其次是高和较高生境质量，中等和低生境质量占比较少。根据泰尔指数计算结果（图2b），20 a内全省和地区间泰尔指数均呈上升趋势，分别上升了18.64%和32.16%，地区间泰尔指数变化较大，尤其是2020年，而地区内差异很小，表明全省和生境质量的空间差异性的扩张主要与地区间空间差异有关；关中地区的泰尔指数略大于陕南地区，大于陕北地区，表明关中地区内部生境质量空间差异性最大，其次是陕南地区，陕北地区空间差异性较小。

表4　2000—2020年陕西省及各地区生境质量面积占比

Tab. 4　Proportion of habitat quality area in Shaanxi Province and the region from 2000 to 2020

地区	年份	低生境质量	较低生境质量	中等生境质量	较高生境质量	高生境质量	生境质量指数
全省	2000	4.80%	38.30%	21.70%	23.50%	11.70%	0.487
	2010	5.30%	40.10%	21.20%	22.00%	11.40%	0.477
	2020	5.00%	34.00%	19.60%	27.90%	13.50%	0.509
关中地区	2000	4.10%	45.54%	8.72%	20.15%	21.49%	0.381
	2010	3.56%	47.01%	9.02%	19.25%	21.16%	0.389
	2020	5.66%	41.76%	8.77%	22.19%	21.62%	0.34
陕南地区	2000	2.41%	23.16%	21.88%	36.14%	16.41%	0.551
	2010	2.75%	24.08%	22.42%	34.49%	16.26%	0.545
	2020	1.54%	21.53%	18.84%	37.68%	20.41%	0.573
陕北地区	2000	5.03%	54.53%	22.25%	12.06%	6.13%	0.456
	2010	6.12%	56.57%	20.41%	10.88%	6.01%	0.447
	2020	5.29%	47.25%	20.70%	20.08%	6.68%	0.495

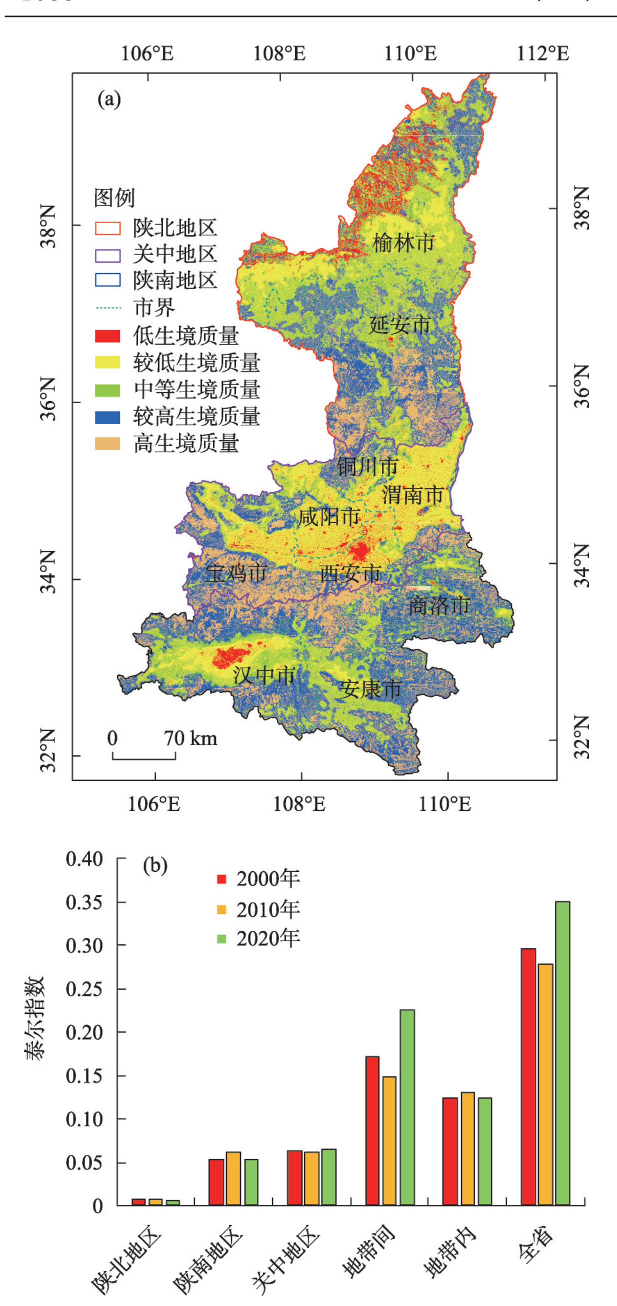


图2 2020年陕西省生境质量空间分布(a)及2000—2020年陕西省生境质量泰尔指数(b)

Fig. 2 Spatial distribution of habitat quality in Shaanxi Province in 2020 (a) and Spatial Index of habitat quality in Shaanxi Province from 2000 to 2020 (b)

2.2 生境质量变化主要驱动因子分析

通过地理探测器分析得到单因子对生境质量变化的解释力(图3),根据显著性检验结果($P<0.01$)可知,受空间尺度影响,不同因子对生境质量的解释程度存在差异。综合3 a平均值,对陕北地区解释力较高的因子依次为:NDVI、土地利用强度、LAI、NPP和年降水量,关中地区主要因子依次为:土地利用强度、NDVI、LAI、起伏度、NPP和地形位,陕南地区主要因子是土地利用强度,降水、气温、人口密度和GDP的解释力反而不高。相对三大地区,全省尺度的单因子解释力下降,前6个因子依次为:LAI、地形位、起伏度、NDVI、土地利用强度和NPP,气候等其他因子解释力小于0.15。综合来看,土地利用、植被因子和地形因子是影响全省和三大地区生境质量的主要因子,但在省尺度下植被因子和地形因子的作用高于土地利用,而区域尺度下土地利用较强。随着时间推移,省尺度下地形因子q值相对稳定,但植被因子和土地利用呈下降趋势,区域尺度下土地利用q值明显上升。由此可见,土地利用是影响三大地区生境质量的首要驱动因子,而植被和地形因子对陕北地区和关中地区的影响同样不可忽视,气候因子和人口等经济社会因子影响较小。

通过交互作用分析得到(图4),除陕南地区2000年土地利用强度与其他因子、陕北地区的路网密度和到市中心距离与地形位呈非线性减弱外,其他地区各因子间交互作用均大于单因子影响,表现为双因子增强和非线性增强,说明各因子之间均呈现协同增强的特征。全省尺度下,2000—2020年植被因子和地形因子与其他因子的交互作用最强,q均值均为0.34,土地利用和其他因子交互作用略低,q均值为0.33。从地区尺度看,土地利用与其他因子交互作用最强,陕南、陕北和关中地区的q均值分别为0.44、0.49和0.67,其次是植被因子与其他因子交互作用,三大地区的q均值分别为0.20、0.39和0.56,第三是地形因子与其他因子交互作用,三大地区的q均值为0.21、0.47和0.23。从交互前后解释力变化程度来看,气候因子和到县中心距离与其他因子交互后变化程度最大,省尺度下由交互前的0.09和0.12变为交互后的0.26和0.24,地区尺度下q均值由交互前的0.1和0.04增大到交互后的0.27和0.29。自2000—2020年,省尺度下各因子之间的交互作用变化不大,区域尺度下土地利用强度与其他因子的交互作用均呈现逐渐增强的趋势,植被因子、地形因子与其他因子的交互作用较为稳定,而气候因子和交通区位与其他因子结合后解释力明显上升也会影响生境质量。

3 讨 论

影响生境质量的因子较多,其中土地利用是影响全省和三大地区生境质量的首要驱动因子,结合

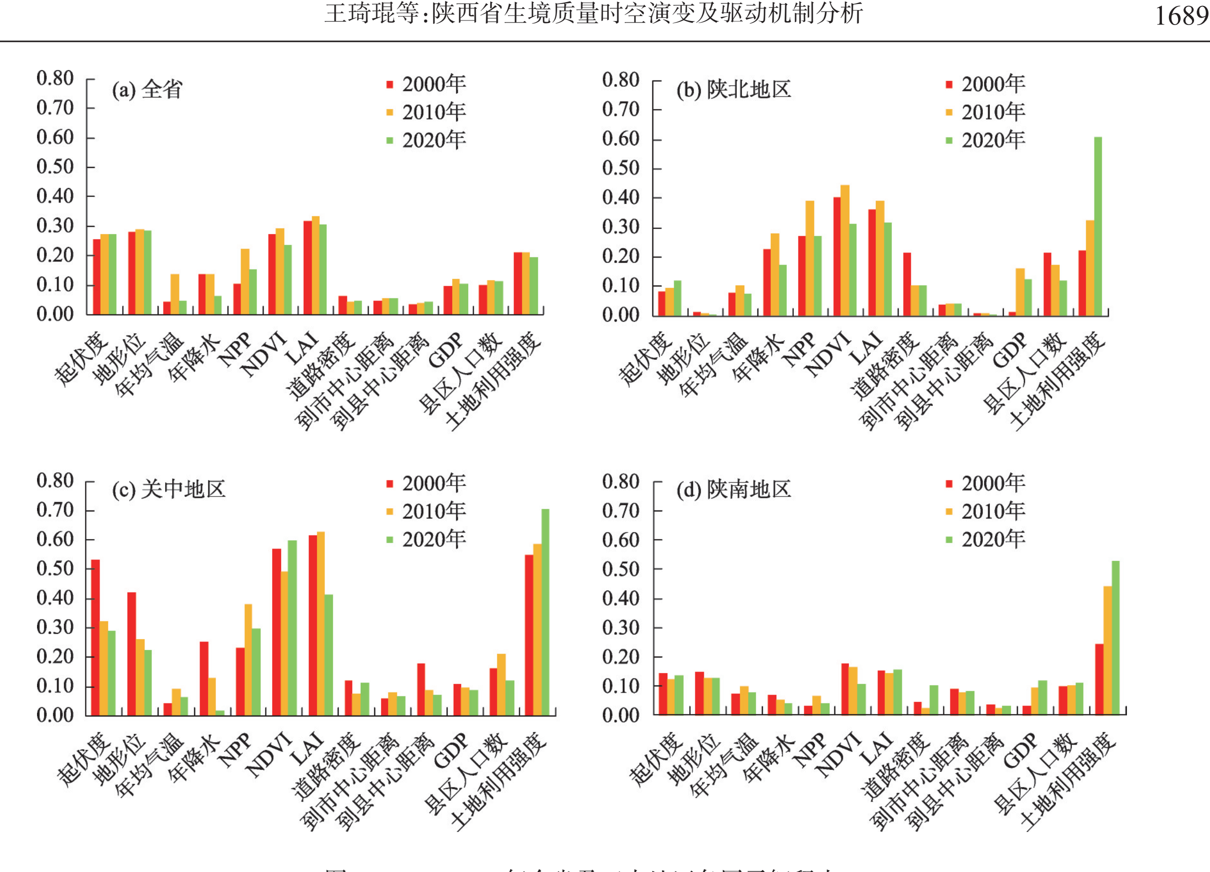
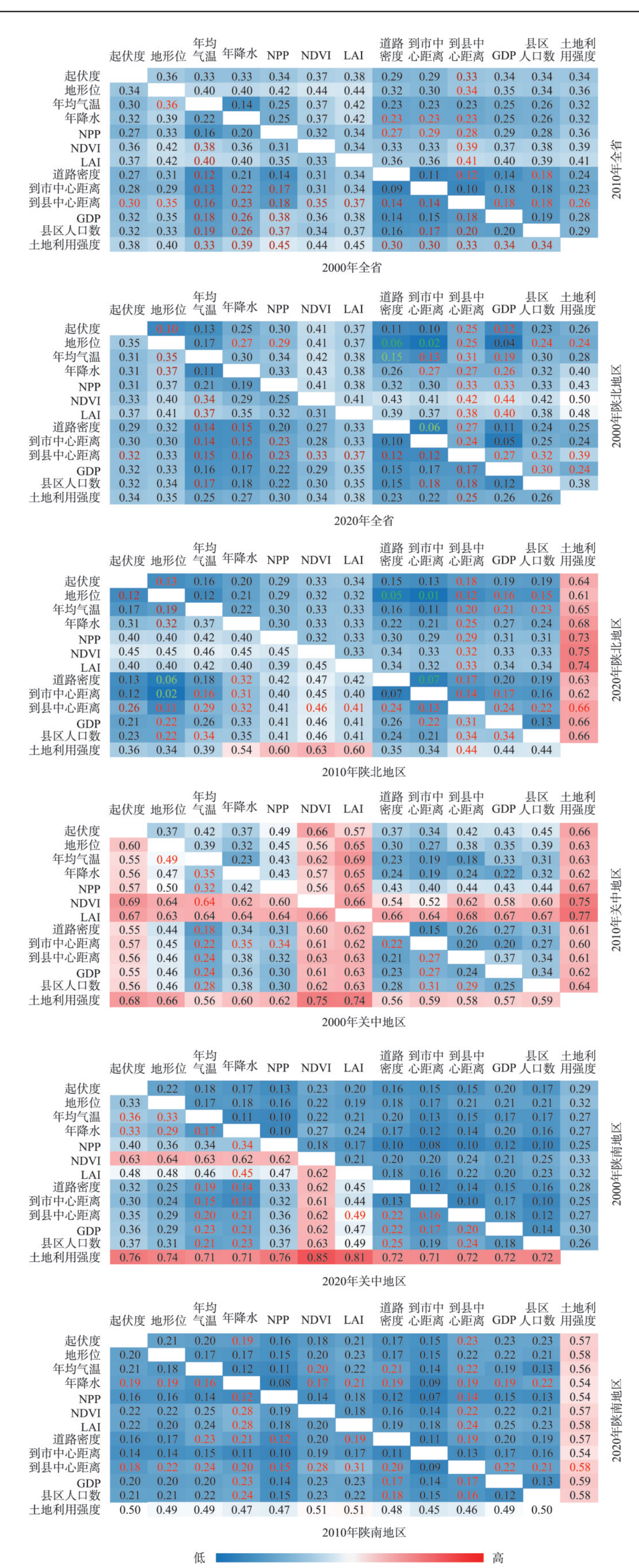


图3 2000—2020年全省及三大地区各因子解释力

Fig. 3 Explanatory power of factors in province and three regions during 2000 to 2020

生境质量评价结果,全省生境质量具有明显的区域差异,这与土地利用类型分布具有较大的一致性。低生境质量主要分布在西安市城区、汉中市汉台区等城镇用地区,耕地面积较大的关中平原区则为较低生境质量,高质量生境主要分布在秦岭山区,森林覆盖率较高。自2000—2020年,土地利用强度对三大地区生境质量的解释力变大,说明人类活动导致的土地利用变化对生境质量影响逐渐加强。但是,土地利用强度对全省生境质量的解释力却有所减弱,这主要与退耕还林和城市扩张的"双向"作用有关[28]。2000—2020年以西安为中心的关中城市群高速扩张,对邻近地区产生"虹吸效应",致使大量林草地和耕地转为城镇居民用地,导致关中地区生境质量变差[29]。而陕南和陕北地区大力开展"封山育林"、"退耕还林"等生态修复工程,大量耕地转化为林草地,使得生境质量变好,因此全省不同地区的生境质量向好和退化的趋势共存。"双向"作用下,陕西省2020年城镇居民用地较2000年增加了96.18%,但是生境质量上升了4.5%,主要是封山育林等生态修复措施弥补了城市群扩张对生境的负面影响,也证明了退耕还林是保护生境质量的有效手段,而城市区域如何在经济发展的同时修复受损生境,也是城市发展亟需解决的问题。LAI和NDVI也是影响全省生境质量的第二类驱动因子,该类指数是反映植被生长状态的重要参数,受到气候变化和人类活动的双向影响[30]。气候变暖的环境延长了植物生长周期,加速了土壤有机质的分解,导致植物生长加快[31],而退耕还林政策和农业水平提高等人类活动加速了植被恢复[32]。但气温升高蒸发量增大又导致水资源短缺问题加剧,进而制约植被生长[33],城镇化等人类活动侵占大量的耕地、林草地,也导致植被覆盖度下降,谢宝妮[34]研究得出,气候变化对NDVI增加的贡献率达到70%。由此可见,降水和气温等气候因子虽然对生境质量空间异质性解释力不高,但通过影响植被变化也间接影响生境质量。此外,高程和坡度等地形因子是影响全省生境质量的第三类驱动因子,主要通过限制人类活动影响生境质量[31]。本研究发现,高程超过1400 m的秦岭山区植被覆盖率高,且地形较陡,人类活动小,生境质量较好;高程500~1000 m的区域内分布有西安、宝鸡、汉中等大中型城市,人类活动强度大,多为低生境质量;高程1000 m区域内有沙化较



注：黄色表示非线性减弱，红色表示非线性增强，黑色表示双因子增强。

图4 全省及其三大地区主要交互因子解释力

Fig. 4 Explanatory power of main interaction factors in the province and its three regions

为严重的毛乌素沙地,因此生境质量较低,这与Wu等[35]的研究结果基本一致。

随着研究区地理尺度改变,驱动因子对生境质量的解释力也发生变化,三大地区驱动因子解释力的方差明显大于全省,原因是全省尺度均质化地区间驱动因子的差异,这与刘春芳等[27]的研究结论一致。除土地利用强度外,受地区自然环境条件和经济社会发展的影响,其他驱动因子存在差异。陕南地区主要为秦巴山区,地形整体变化不大,植被覆盖率整体较高且受气候变化影响相对较小,因此生境质量受地形和植被因子影响较小。陕北干旱区植被脆弱,对气候变化响应敏感[36],同时该地区也是退耕还林的主要区域,在气候和土地政策影响下植被增加明显。关中地区南依秦岭山脉,北临黄土高原,中部为平原,最大高程差为2000 m[37],气候上南北差异较大导致植被类型多样,中部有关中城市群,人类活动剧烈,因此生境质量受自然环境和社会经济发展的共同影响。

在制定生境质量保护对策中,需依据不同地区制定不同生境质量保护策略,从而使整体得到提升。生境质量在省尺度和区域尺度的交互探测中都表现为双因子增强和非线性增强,表明各因子之间联系密切。对于三大地区来说,土地利用强度与植被指数和叶面积指数的交互作用增强,说明以土地利用为代表的经济社会因素与自然环境因素的叠加作用显著影响生境质量,其中,关中地区土地利用强度和植被因子交互作用解释率达0.81以上。对于陕南地区,土地利用强度与人口密度和地形位的叠加作用影响次之,说明生境质量的影响主要受到土地利用强度与植被因子的共同作用,经济社会因子的内部交叉作用影响较低。因此提高该地区生境质量需着重考虑土地利用和植被因子这2个因素。受方法限制本研究仅分析了双因子叠加对生境质量的影响,而多因子对生境质量的影响仍需进一步探讨。

4 结 论

本文基于陕西省2000年、2010年和2020年3期土地利用数据,利用InVEST模型评价分析了全省、陕南、陕北和关中地区的生境质量及时空演变趋势,并采用地理探测器识别了影响生境质量变化的主要驱动因子。主要结论如下:

(1) 全省生境质量平均为中等水平,且20 a间逐渐得到改善。全省生境质量呈现显著的空间分布格局,以陕南地区质量最好,关中地区最差,陕北地区居于二者之间。20 a间全省生境质量的空间差异性变大,主要受地区间空间差异影响,三大地区以陕南地区和关中地区差异性较大。

(2) 植被因子、地形因子和土地利用强度是影响全省生境质量变化的主要驱动因子,且土地利用强度的影响逐年增强,其余因子逐年减弱。三大地区的主要驱动因子除受土地利用强度影响外,陕北地区还受植被因子的影响,关中地区受植被因子和地形因子影响,气候因子和人口、GDP等经济社会因子对其影响较小。

(3) 双因子交互作用显示,省尺度下各因子之间的交互作用变化不大,区域尺度下土地利用强度与其他因子的交互作用均呈现逐渐增强的趋势,植被因子、地形因子与其他因子的交互作用较为稳定。气候因子和到县中心距离与其他因子交互后变化程度最大也应重点关注。

参考文献(References):

[1] 王凯, 王聪, 冯晓明, 等. 生物多样性与生态系统多功能性的关系研究进展[J]. 生态学报, 2022, 42(1): 11-23. [Wang Kai, Wang Cong, Feng Xiaoming, et al. Research progress on the relationship between biodiversity and ecosystem multifunctionality[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(1): 11-23.]

[2] Aguilar R, Cristobal-Perez E J C, Balvino-Olvera F J, et al. Habitat fragmentation reduces plant progeny quality: A global synthesis [J]. Ecology letters, 2019, 22(7): 1163-1173.

[3] Weber D, Schaepman-strub G, Ecker K. Predicting habitat quality of protected dry grasslands using Landsat NDVI phenology[J]. Ecological Indicators, 2018, 91: 447-460.

[4] 彭建, 徐飞雄, 吴见, 等. 典型旅游城市生境质量空间分异及其影响机理研究——以黄山市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(10): 2397-2409. [Peng Jian, Xu Feixiong, Wu Jian, et al. Spatial differentiation of habitat quality in typical tourist city and their Influencing factors mechanisms: A case study of Huangshan City[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(10): 2397-2409.]

[5] 吴健生, 曹祺文, 石淑芹, 等. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变[J]. 应用生态学报, 2015, 26(11): 3457-3466. [Wu Jiansheng, Cao Qiwen, Shi Shuqin, et al. Spatio-temporal variability of habitat quality in Beijing-Tianjin-Hebei Area based on land use change[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26 (11): 3457-3466.]

[6] 粟一帆, 李卫明, 李金京, 等. 桥边河大型底栖动物生境适宜性[J]. 生态学报, 2020, 40(16): 5844-5854. [Su Yifan, Li Weiming, Li Jinjing, et al. Habitat suitability of macroinvertebrates: A case study in Qiaobian River, atributary of Yangtze River, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(16): 5844-5854.]

[7] Boumans R, Roman J, Altman I, et al. The Multiscale Integrated Model of Ecosystem Services (MIMES): Simulating the interactions of coupled human and natural systems[J]. Ecosystem Services, 2015, 12: 30-41.

[8] 张学儒, 周杰, 李梦梅. 基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析[J]. 地理学报, 2020, 75(1): 160-178. [Zhang Xueru, Zhou Jie, Li Mengmei. Analysis on spatial and temporal changes of regional habitat-quality based on the spatial pattern reconstruction of land use[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(1): 160-178.]

[9] 李亚楠, 多玲花, 张明. 基于CA-Markov和InVEST模型的土地利用格局与生境质量时空演变及预测——以江西省南昌市为例[J]. 水土保持研究, 2022, 29(2): 345-354. [Li Ya'nan, Duo Linghua, Zhang Ming. Evolutionand prediction of land use pattern and habitat quality based on CA-Markov and InVEST model: A case study of Nanchang city in JIangxi[J]. Research of Soi land Water Conservation, 2022, 29(2): 345-354.]

[10] 刘春芳, 王川. 基于土地利用变化的黄土丘陵区生境质量时空演变特征——以榆中县为例[J]. 生态学报, 2018, 38(20): 7300-7311. [Liu Chunfang, Wang Chuan. Patio-temporal evolution characteristics of habitat quality in the Loess Hilly Region based on land use change: A case study in Yuzhong County[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(20): 7300-7311.]

[11] 陈妍, 乔飞, 江磊. 基于In VEST模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的影响研究——以北京为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2016, 52(3): 553-562. [Chen Yan, Qiao Fei, Jiang Lei. Effects of land use pattern change on regional scale habitat quality based on InVEST model: A case study in Beijing[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis , 2016, 52(3): 553-562.]

[12] 李胜鹏, 柳建玲, 林津, 等. 基于1980—2018年土地利用变化的福建省生境质量时空演变[J]. 应用生态学报, 2020, 31(12): 4080-4090. [Li Shengpeng, Liu Jianling, Lin Jin, et al. Spatial and temporal evolution of habitat quality in Fujian Province,China based on the land use change from 1980 to 2018[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(12): 4080-4090.]

[13] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.]

[14] 段艺芳, 任志远, 孙艺杰. 陕北黄土高原植被生态系统水分利用效率气候时滞效应[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3408-3419. [Duan Yifang, Ren Zhiyuan, Sun Yijie. Time-lay effects of climate on water use efficiency in the Loess Plateau of northern Shaanxi [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(10): 3408-3419.]

[15] 丁莹莹, 邱德勋, 吴常雪, 等. 关中平原极端降水时空变化及其与大气环流的关系[J]. 干旱区研究, 2022, 39(1): 104-112. [Ding Yingying, Qiu Dexun, Wu Changxue, et al. Spatial-temporal variations in extreme precipitation and their relationship with atmospheric circulation in the Guanzhong Plain[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(1): 104-112.]

[16] 李小燕. 陕南气温和降水变化时空相关分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2014, 44(6): 988-992. [Li Xiaoyan. Analysis of spatiotemporal correlation between temperature and precipitation in southern Shaanxi[J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 2014, 44(6): 988-992.]

[17] 景海超, 刘颖慧, 贺佩, 等. 青藏高原典型区生态系统服务空间异质性及其影响因素——以那曲市为例[J]. 生态学报, 2022, 42(7): 2657-2673. [Jing Haichao, Liu Yinghui, He Pei, et al. Spatial heterogeneity of ecosystem services and it's influencing factors in typical areas of the Qinghai-Tibet Plateau: A case study of Nagqu city[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(7): 2657-2673.]

[18] 黄木易, 岳文泽, 方斌, 等. 1970-2015年大别山区生态服务价值尺度响应特征及地理探测机制[J]. 地理学报, 2019, 74(9): 1904-1920. [Huang Muyi, Yue Wenze, Fang Bin, et al. Scale response characteristics and geographic exploration mechanism of spatial differentiation of ecosystem service values in Dabie Mountain area, central China from 1970 to 2015[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(9): 1904-1920.]

[19] 孙泽兴, 李汶怡, 刘嘉敏, 等. 陕西省生态恢复综合效益评估[J]. 生态学报, 2022, 42(7): 2718-2729. [Sun Zexing, Li Wenyi, Liu Jiamin,et al. Evaluation of comprehensive benefit for ecological restoration in Shaanxi Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(7): 2718-2729.]

[20] 潘竟虎, 苏有才, 黄永生, 等. 近30年玉门市土地利用与景观格局变化及其驱动力[J]. 地理研究, 2012, 31(9): 1631-1639. [Pan Jinghu, Su Youcai, Huang Yongsheng, et al. Land use & landscape pattern change and it's driving forces in Yumen City[J]. Geographical Research, 2012, 31(9): 1631-1639.]

[21] 李子君, 许燕琳, 王海军, 等. 基于WaTEM/SEDEM模型的沂河流域土壤侵蚀产沙模拟[J]. 地理研究, 2021, 40(8): 2380-2396. [Li Zijun, Xu Yanlin, Wang Haijun, et al. Modeling soil erosion and sediment yield using WaTEM/SEDEM for Yihe River Basin [J]. Geographical Research, 2021, 40(8): 2380-2396.]

[22] 苗旭, 李九一, 宋小燕, 等. 2000—2020年鄂尔多斯市植被NDVI变化格局及归因分析[J]. 水土保持研究, 2022, 29(3): 300-307. [Miao Xu, Li Jiuyi, Song Xiaoyan, et al. Analysison change pattern and attribution of vegetation NDVI in Ordos City from 2000 to 2020[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(3): 300-307.]

[23] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 等. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响[J]. 地理学报, 2010, 65(6): 708-714. [Shi Longyu, Cui Shenghui, Yin Kai, et al. The impact of land use/cover change on ecosystem service in Xiamen[J]. Acta Geographica Sinica,

2010, 65(6): 708-714.]

[24] 梁晓瑶, 袁丽华, 宁立新, 等. 基于InVEST模型的黑龙江省生境质量空间格局及其影响因素[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2020, 56(6): 864-872. [Liang Xiaoyao, Yuan Lihua, Ning Lixin, et al. Spatial pattern of habitat quality and driving factors in Heilongjiang Province[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition), 2020, 56(6): 864-872.]

[25] 包玉斌, 刘康, 李婷, 等. 基于InVEST模型的土地利用变化对生境的影响——以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J]. 干旱区研究, 2015, 32(3): 622-629. [Bao Yubin, Liu Kang, Li Ting, et al. Effects of Land use change on habitat based on InVEST model: Taking Yellow River wetland nature reserve in Shaanxi Province as an example[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(3): 622-629.]

[26] 戴云哲, 李江风, 杨建新. 长沙都市区生境质量对城市扩张的时空响应[J]. 地理科学进展, 2018, 37(10): 1340-1351. [Dai Yunzhe, Li Jiangfeng, Yang Jianxin. Spatiotemporal responses of habitat quality to urban sprawl in the Changshametropolitan area[J]. Progress in Geography, 2018, 37(10): 1340-1351.]

[27] 刘春芳, 王川, 刘立程. 三大自然区过渡带生境质量时空差异及形成机制——以榆中县为例[J]. 地理研究, 2018, 37(2): 419-432. [Liu Chunfang, Wang Chuan, Liu Licheng. Spatio-temporal variation on habitat quality and its mechanism within the transitional area of the three natural zones: A case study in Yuzhong county[J]. Geographical Research, 2018, 37(2): 419-432.]

[28] 谢怡凡, 姚顺波, 邓元杰, 等. 延安市退耕还林(草)工程对生境质量时空格局的影响[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(4): 575-586. [Xie Yifan, Yao Shunbo, Deng Yuanjie, et al. Impact of the 'Grain for Green' project on the temporal and spatial evolution of ecosystem service value in northern Shaanxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 28(4): 575-586.]

[29] 周亮, 唐建军, 刘兴科, 等. 黄土高原人口密集区域城镇扩张对生境质量的影响——以兰州、西安-咸阳及太原为例[J]. 应用生态学报, 2021, 32(1): 261-270. [Zhou Liang, Tang Jianjun, Liu Xingke, et al. Effects of urban expansion on habitat quality in densely populated areas on the Loess Plateau: A case study of Lanzhou, Xi'an-Xianyang and Taiyuan, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(1): 261-270.]

[30] 金凯, 王飞, 韩剑桥, 等. 1982—2015年中国气候变化和人类活动对植被NDVI变化的影响[J]. 地理学报, 2020, 75(5): 961-974. [Jin Kai, Wang Fei, Han Jianqiao, et al. Contribution of climatic change and human activities to vegetation NDVI change over China during 1982-2015[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(5): 961-974.]

[31] 李净, 刘红兵, 李彩云, 等. 基于GIMMS 3g NDVI的近30年中国北部植被生长季始期变化研究[J]. 地理科学, 2017, 37(4): 620-629. [Li Jing, Liu Hongbing, Li Caiyun, et al. Changes of green-up day of vegetation growing season based on GIMMS 3g NDVI in northern China in recent 30 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(4): 620-629.]

[32] Li Y Z, Fan J W, Hu Z M, et al. Comparison of evapotranspiration components and water use efficiency among different land use patterns of temperate steppe in the northern China pastoral-farming ecotone[J]. International Journal of Biometeorology, 2016, 60(6): 827-841.

[33] Shi S Y, Yu J J, Wang F, et al. Quantitative contributions of climate change and human activities to vegetate on changes over multiple time scales on the Loess Plateau[J]. Science of Total Environment, 2021, 755(2): 142419.

[34] 谢宝妮. 黄土高原近30年植被覆盖变化及其对气候变化的响应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016. [Xie Baoni. Vegetation Dynamics and Climate Change on the Loess Plateau, China: 1982-2014[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2016.]

[35] Wu L L, Su C G, Fan F L. Estimating the characteristic spatiotemporal variation in habitat quality using the InVEST model: A case study from Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area[J]. Remote Sensing, 2021, 13(5): 1008-1032.

[36] 杨丹, 王晓峰. 黄土高原气候和人类活动对植被NPP变化的影响[J]. 干旱区研究, 2022, 39(2): 584-593. [Yang Dan, Wang Xiaofeng. Contribution of climatic change and human activities to changes in net primary productivity in the Loess Plateau[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(2): 584-593.]

[37] 贾磊, 姚顺波, 邓元杰, 等. 2000—2020年陕西秦巴山区生境质量时空演变及其地形梯度效应[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(2): 398-413. [Jia Lei, Yao Shunbo, Deng Yuanjie, et al. Temporal and spatial evolution of habitat quality and it's topographic gradient effect in Qinling-Daba Mountain Area, Shaanxi Province, 2000-2020[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(2): 398-413.]

Spatial-temporal changes and driving factors of habitat quality in Shaanxi Province during the past 20 years

WANG Qikun, WU Wei, YANG Xueqi, SANG Guoqing

(School of Water Conservancy and Environment, University of Jinan, Jinan 250022, Shandong, China)

Abstract: Habitat quality is an important basis for biodiversity conservation and improvement of the regional ecological environment. With an ecological civilization construction as the background, the spatial- temporal adaptation and driving mechanism of habitat quality is significant to study. Based on land use data in Shaanxi Province in 2000, 2010, and 2020, the characteristics and driving factors in the spatial-temporal adaptations of the quality of habitat in three regions were analyzed using the InVEST model, Theil index model, and geographic detector model. The results showed the following: (1) from 2000 to 2020, the average quality of habitat showed a stable and slightly increasing trend, and the spatial distribution difference was obvious, with the average habitat quality in southern Shaanxi and northern Shaanxi being higher compared to Guanzhong; (2) the difference of habitat quality among the three regions was larger in southern and central Shaanxi compared to northern Shaanxi; (3) the province and the driving factors in the three different regions, vegetation and terrain factors for the habitat quality, and land utilization factor are the main influencing factors of the three major areas affected by the spatial scale. As time goes on, the influence degree gradually strengthens, and the terrain and vegetation factors have different effects on three areas; (4) In addition to single factors, significant impacts on habitat quality changes in the three regions produced cooperative effects on socioeconomic and natural environmental factors.

Keywords: habitat quality; InVEST model; geographic detector; driving factor; Shaanxi Province